

## 薏苡秸秆基质对灰树花氨基酸组成及营养价值的影响

周佳佳, 周宇, 刘波, 韦功豪, 董仕彪, 苏荣荣, 龙声卫

### Effects of *Coix* Straw Cultivation Substrate on Amino Acid Composition and Nutritional Value in *Grifola frondosa*

ZHOU Jiajia, ZHOU Yu, LIU Bo, WEI Gonghao, DONG Shibiao, SU Rongrong, and LONG Shengwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024050311>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 不同品种菜薹游离氨基酸组成分析及综合评价

Composition and Comprehensive Evaluation of Free Amino Acids in Different *Brassica campestris* Cultivars

食品工业科技. 2025, 46(5): 230-238 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024030348>

#### 不同品种木芙蓉花氨基酸组成分析及评价

Analysis and Assessment of Amino Acid Component in Flowers of *Hibiscus mutabilis* L. among Different Cultivars

食品工业科技. 2021, 42(20): 279-285 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020021>

#### 阿克陶引种栽培的5个果桑品种桑葚氨基酸分析与评价

Analysis and Evaluation of Amino Acids in Ripe Fruit of Five Mulberry Varieties Introduced and Cultivated by Aketao

食品工业科技. 2020, 41(17): 297-301,307 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.17.050>

#### 福建名特花生氨基酸营养价值评价

Assessment of Amino Acid Nutrition in the Several Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Varieties from Fujian, China

食品工业科技. 2022, 43(17): 316-321 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021110254>

#### 基于两次发酵法遵义特色泡辣椒游离氨基酸组成的主成分分析及综合评价

Principal Component Analysis and Comprehensive Evaluation of Free Amino Acid Composition of Zunyi Characteristic Pickled Peppers Based on Two-fermentation Method

食品工业科技. 2024, 45(3): 262-269 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030280>

#### 八眉猪不同部位肌肉氨基酸组成分析及营养评价

Nutritional Evaluation and Composition Analysis of Amino Acid in Different Parts of Muscle of Bamei Pig

食品工业科技. 2020, 41(24): 232-236,291 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030274>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周佳佳, 周宇, 刘波, 等. 薏苡秸秆基质对灰树花氨基酸组成及营养价值的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(11): 52–59. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050311

ZHOU Jiajia, ZHOU Yu, LIU Bo, et al. Effects of *Coix* Straw Cultivation Substrate on Amino Acid Composition and Nutritional Value in *Grifola frondosa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(11): 52–59. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050311

· 研究与探讨 ·

# 薏苡秸秆基质对灰树花氨基酸组成及 营养价值的影响

周佳佳<sup>1</sup>, 周宇<sup>1</sup>, 刘波<sup>1</sup>, 韦功豪<sup>2</sup>, 董仕彪<sup>3</sup>, 苏荣荣<sup>1</sup>, 龙声卫<sup>1,\*</sup>

(1. 黔西南州农业林业科学研究院, 贵州兴义 562400;

2. 黔西南州农业农村局, 贵州兴义 562400;

3. 兴义市福丰农业资源发展有限公司, 贵州兴义 562400)

**摘要:**为合理利用薏苡秸秆资源, 本研究通过设计不同配比薏苡秸秆配方栽培灰树花, 比较分析不同配方农艺指标、蛋白质和粗多糖含量的差异, 在现行国际氨基酸模式谱的基础上, 通过对灰树花氨基酸组成及含量分析, 采用氨基酸评分(AAS)、氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)、化学评分法(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)、生物价(BV)和营养指标(NI)等多个指标进行灰树花蛋白质营养综合评价。结果表明, P3 配方(薏苡秸秆 30%、棉籽壳 10%、细木屑 30%、麸皮 18%、玉米粉 5%、泥土 6%、石膏 1%)相对生物学转化率提高至 31.25%±1.02%, 蛋白质含量 33.36 g/100 g, 高于对照 6.76 g/100 g。AAS、RAA、RC 和 CS 营养价值评价显示, 灰树花第一限制性氨基酸为蛋氨酸 Met。EAAI、BV、NI 数值显示, P3 配方分别为 105.06、102.82、35.05, 3 项指标评分均优于 CK 配方, 且数值均优于模式蛋白。综上, P3 配方栽培的灰树花氨基酸分布均衡, 具有较高营养价值和保健食品开发前景。本研究的开展为薏苡秸秆高效栽培高品质灰树花提供理论依据, 并为薏苡秸秆的高效资源化利用提供必要途径。

**关键词:** 灰树花, 薏苡秸秆, 氨基酸分析, 综合评价

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)11-0052-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050311



本文网刊:

## Effects of *Coix* Straw Cultivation Substrate on Amino Acid Composition and Nutritional Value in *Grifola frondosa*

ZHOU Jiajia<sup>1</sup>, ZHOU Yu<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>1</sup>, WEI Gonghao<sup>2</sup>, DONG Shibiao<sup>3</sup>, SU Rongrong<sup>1</sup>, LONG Shengwei<sup>1,\*</sup>

(1. Qianxinan Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xingyi 562400, China;

2. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Qianxinan Prefecture, Xingyi 562400, China;

3. Xingyi Fufeng Agricultural Resources Development Co., Ltd., Xingyi 562400, China)

**Abstract:** To rationally utilize the resources of *Coix* straw, this study designed different ratios of *Coix* straw formulations to cultivate *Grifola frondosa*, comparatively analyzed the differences among agronomic indices, protein and crude polysaccharide content of different formulations, and analyzed the composition and content of amino acids of *G. frondosa* on the basis of the current international amino acid pattern profile using the amino acid score (AAS), amino acid ratio (RAA), ratio coefficient of amino acid (RC), chemistry score (CS), essential amino acid index (EAAI), biological valence (BV), and nutritional index (NI) for the comprehensive evaluation of protein nutrition of *G. frondosa*. The results showed that the relative biological conversion of formulation P3 (30% *Coix* straw, 10% cottonseed husk, 30% fine sawdust, 18% bran, 5% cornmeal, 6% clay, and 1% gypsum) was increased to 31.25%±1.02%. The protein content of 33.36 g/100 g was

收稿日期: 2024-05-27

基金项目: 黔菌产学研融合〔2022〕24 号。

作者简介: 周佳佳 (1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事食用菌栽培方面的研究, E-mail: 756627455@qq.com。

\* 通信作者: 龙声卫 (1975-), 男, 本科, 三级研究员, 主要从事现代山区特色农业关键技术与成果示范等方面的研究, E-mail: lsw3891619@163.com。

higher than that of the control group of 6.76 g/100 g. Evaluation of the nutritional value of AAS, RAA, RC, and CS showed that the first limiting amino acid of *G. frondosa* was methionine (Met). The EAAI, BV, and NI values of the P3 formulation were 105.06, 102.82, and 35.05, respectively; all three index scores were better than those of the CK formulation, and the values were better than those of the model protein. In conclusion, the amino acid distribution of *G. frondosa* cultivated by formula P3 was balanced, with high nutritional value and prospects for healthy food development. The present study was conducted to provide a theoretical basis for the efficient cultivation of high-quality *G. frondosa* with *Coix* straw and the necessary methods for efficient resource utilization of *Coix* straw.

**Key words:** *Grifola frondosa*; *Coix* straw; amino acid analysis; comprehensive evaluation

灰树花(*Grifola frondosa*)属担子菌亚门(Basidiomycota)、层菌纲(Hymenomycetes)、非褶菌目(Aphyllphorales)、多孔菌科(Polyporaceae)、树花菌属(*Grifola*),因其主要生长在栗树根基部,故又名栗蘑,是一种四级性异宗结合真菌,具有好氧、喜光的特性<sup>[1-3]</sup>。从传统中药学角度看,灰树花具有益气健脾、补虚扶正的功效。从现代医学角度看,灰树花含有多糖、多酚、生物碱类等有机化合物,具有抗肿瘤、抗衰老、免疫调节、抗氧化、降血糖、抗癌等功效<sup>[4-10]</sup>,是一珍稀的药食两用蕈菌,市场发展前景广阔。现阶段,灰树花栽培主要分为大棚覆土栽培和工厂化划口栽培两种,相比于覆土栽培,划口栽培更简便,出菇整齐,朵形小而无杂质,深受消费者青睐。但是,随着灰树花工厂化栽培规模的扩大,对菌材木屑、棉籽壳的需求量也急剧增加<sup>[11]</sup>,当前采用菌草<sup>[12]</sup>、棉柴<sup>[13]</sup>等替代木屑、棉籽壳来栽培灰树花,以缓解“菌林矛盾”,同时提升灰树花食用价值。

贵州省黔西南州兴仁市是我国薏苡的主产区之一,2023 年种植面积为 1.67 万 hm<sup>2</sup>,占全国薏苡种植总面积的 30% 以上<sup>[14]</sup>。每年收获后薏苡秸秆和薏仁壳农业废弃资源丰富,其蛋白质、纤维素、维生素、矿质元素、氨基酸等含量较高<sup>[15-16]</sup>。但是,因质地坚硬,未被集中处理再利用,因而被种植户随意丢弃或直接焚烧,造成严重的资源浪费和环境污染,亟需寻求有效的资源化利用途径。近年来,魏翱<sup>[17]</sup>采用薏苡秸秆为主料栽培灵芝(*Glossy Ganoderma*),结果表明,每菌袋可采收灵芝干品约 30 g。刘炼等<sup>[18]</sup>采用薏苡秸秆栽培大球盖菇(*Stropharia rugoso-annulata*)发现,添加 75% 的薏苡秸秆能有效提高大球盖菇的产量,且经济效益均超过 6600 元/亩。但鲜见薏苡秸秆栽培灰树花对子实体农艺性状,蛋白质含量,粗多糖含量及氨基酸组成、含量差异评价影响的相关研究报道。因此,本研究通过合理设计不同配比的薏苡秸秆配方,开展灰树花子实体农艺性状测定、蛋白质含量、粗多糖含量及营养价值评价,旨在为薏苡秸秆的灰树花栽培高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

以黔西南州主要农作物副产物薏苡秸秆为主料,设计不同配方栽培灰树花,灰树花菌种 兴义市福丰农业资源发展有限公司提供(庆灰 151);棉籽

壳、细木屑、麸皮、玉米粉、石膏 兴义市福丰农业资源发展有限公司;薏苡秸秆 黔西南州农业林业科学研究所;盐酸、柠檬酸钠 优级纯,国药集团化学试剂有限公司;苯酚、硫酸 分析纯,成都市科隆化学品有限公司;氨基酸标品 美国 Sigma 公司;氢氧化钠、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、氢氧化钠、对硝基苯酚、乙酸钠、无水乙酸钠、乙酸、甲醛、乙酰丙酮 优级纯,成都市科隆化学品有限公司。

GHG-9246A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;Fw-80 高速粉碎机 北京启宏瑞达科技有限公司;L-8900 氨基酸自动分析仪 日本 Hitachi 公司;UV1800 分光光度计 日本岛津公司;FOSS 2400 全自动凯氏定氮仪、消化炉 瑞典 FOSS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 试验设计方法 以黔西南州主要农作物副产物薏苡秸秆为主料,设 6 个不同比例薏苡秸秆配方,各配方成分比例见表 1,按配方比例称取栽培料,投入搅拌机中加入适量水,搅拌均匀,控制含水量在 60%,使用规格为 17 cm×33 cm、厚度 0.005 cm 的菌袋装袋,每个配方 100 袋,每袋装干料 400 g,于 121 ℃ 高压灭菌锅中灭菌 2 h,移入无菌房,冷却后接种,每个菌包接种量为 30 g,将接好的菌包放置培养房培养,于 24 ℃ 条件下培养至满袋。

表 1 灰树花不同栽培配方及配比  
Table 1 Different cultivation formulas and ratios of *G. frondosa*

配方	薏苡秸秆 (%)	棉籽壳 (%)	细木屑 (%)	麸皮 (%)	玉米粉 (%)	泥土 (%)	石膏 (%)
CK	0	10	60	18	5	6	1
P1	10	10	50	18	5	6	1
P2	20	10	40	18	5	6	1
P3	30	10	30	18	5	6	1
P4	40	10	20	18	5	6	1
P5	50	10	10	18	5	6	1
P6	60	10	0	18	5	6	1

出菇管理参考工厂化出菇条件进行管理,温度保持在 18~20 ℃,湿度保持在 85%~90%,CO<sub>2</sub> 体积分数控制在 0.2% 以下,光照强度控制在 300~500 Lx。

灰树花样品采集方法:根据不同栽培配方采用随机方法取样,每 30 棒为 1 个生物学重复,每个配方采集 3 个生物学重复,将样品在 55 ℃ 烘箱中烘干



至恒质量并粉碎备用。

### 1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 灰树花农艺性状测定 每个栽培配方选取 10 棒开展农艺指标测定,利用游标卡尺和实验天平开展灰树花农艺指标测定,测定指标分别为菌丝满袋时间、子实体丛径、鲜重、干重,并计算相对生物学转化率,即相对生物学转化率(%)=(鲜重总重/菌包干料重)×100。

1.2.2.2 灰树花营养指标检测 蛋白质含量测定:参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法凯氏定氮法;粗多糖测定:参考 NY/T 1676-2023《食用菌中粗多糖的测定》中的分光光度法。

1.2.2.3 灰树花氨基酸含量检测 16 种氨基酸测定:参考 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

### 1.2.3 灰树花氨基酸评价方法

1.2.3.1 氨基酸组成结构分析 为了科学评价不同栽培配方下灰树花氨基酸的组分结构,引入必需氨基酸(EAA)与非必需氨基酸(NEAA)的比值等指标。根据世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)于 1973 年提出的蛋白质营养价值 EAA 模式可知,若 EAA/(EAA+NEAA)值达到 40% 左右,且 EAA/NEAA 值在 60% 以上为理想蛋白质<sup>[19-20]</sup>。

1.2.3.2 呈味氨基酸分析 呈味氨基酸可分为甜味氨基酸(Sweet amino acid, SAA)、苦味氨基酸(Bitter amino acid, BAA)、鲜味氨基酸(Umami amino acids, UAA)、芳香族氨基酸(Aromatic amino acids, AAA)。SAA 包括亚麻酸 Ala、丝氨酸 Ser、甘氨酸 Gly、脯氨酸 Pro、苏氨酸 Thr; BAA 包括亮氨酸 Leu、异亮氨酸 Ile、缬氨酸 Val、苯丙氨酸 Phe、精氨酸 Arg、蛋氨酸 Met、组氨酸 His; UAA 包括天门冬氨酸 Asp 和谷氨酸 Glu; AAA 包括酪氨酸 Tyr 和赖氨酸 Lys<sup>[21]</sup>。

1.2.3.3 味道强度值分析 味道强度值(Taste active value, TAV)是样品中呈味物质测定值与其味觉阈值的比值。若灰树花的某个氨基酸 TAV>1,则认为该氨基酸对呈味有贡献;若 TAV<1,则认为该氨基酸对呈味贡献较小<sup>[22-24]</sup>。由此确定灰树花中的重要呈味氨基酸。

1.2.3.4 营养价值评价 根据 FAO 和 WHO 于 1973 年提出的理想蛋白质人体必需氨基酸标准模式,分析灰树花不同配方氨基酸营养价值。采用蛋白质的氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、消化率校正氨基酸评分(Protein digestibility corrected amino acids score, PDCAAS)、氨基酸比值(Amino acid ratio, RAA)、氨基酸比值系数(Ratio coefficient of amino acid, RC)、氨基酸比值系数评分(Score of RC, SRC)、化学评分(Chemistry score, CS)、必需氨基酸指数

(Essential amino acids index, EAAI)、生物价(Biological valence, BV)和营养指标(Nutritive index, NI)进行灰树花蛋白质营养综合评价<sup>[25]</sup>。

### 1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2019 软件进行数据处理;采用 SPSS 19.0 软件中 Duncan 多重性方法比较分析不同薏苡秸秆配方下灰树花相关指标的差异显著性,数据均为 3 个以上重复的平均值±标准偏差(Mean±SD, n≥3, P<0.05);采用 Origin 2019 软件绘制柱形图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽培配方下灰树花农艺性状分析

从灰树花栽培种接种到满袋天数情况分析,配方 CK、P1~P6 依次为 32、32、31、32、35、36、40 d,随着配方中细木屑含量减少,薏苡秸秆含量增加,当薏苡秸秆含量增加至 20% 时,其菌丝满袋时间最短,比对照提前 1 d;当薏苡秸秆含量增加至 60% 时,其菌丝满袋时间随之增加,比对照晚 8 d,表明薏苡秸秆添加量的多少对菌丝体的生长具有一定的影响,随着薏苡秸秆添加量增加,菌丝满袋时间有先减少后增加趋势,说明配方中添加适量薏苡秸秆可以促进灰树花菌丝生长。从图 1A 分析,随着薏苡秸秆含量的添加,灰树花鲜重表现出先增加后减少的趋势,P3 配方单朵鲜重最大,达 125 g,比对照配方多 1.45 g。相对生物学转化率也是最大,约 31.25%(图 1C)。从图 1D 可知,P3 配方灰树花子实体丛径显著高于对照配方(P<0.05),表现出先增加后减少的趋势,且子实体形态较好,符合商品形态(图 2)。与 CK 配方相比,添加 10%~30% 薏苡秸秆配比下栽培的灰树花菌丝满袋时间、子实体鲜重和相对生物学转化率差异不显著(P>0.05),P3 配方子实体丛径 11.65 cm 显著高于 CK 配方(P<0.05)。适当添加薏苡秸秆,可以为灰树花生长提供充足营养,提高灰树花子实体产量,子实体丛径和灰树花朵形更优。这可能与培养料加入薏苡秸秆后菌丝生长所需营养物质变化有关<sup>[16]</sup>。

### 2.2 不同栽培配方下对灰树花蛋白质和粗多糖含量的分析

由表 2 可知,通过蛋白质含量和粗多糖含量比较发现,P3 配方和 CK 配方蛋白质含量表现出极显著差异(P<0.01),P3 配方优于 CK 配方,其含量分别为 33.36 g/100 g 和 26.6 g/100 g;粗多糖含量则无显著差异(P>0.05),CK 配方含量高于 P3 配方,约高 0.68 g/100 g。曾维军等<sup>[26]</sup>通过比较贵州省主栽食用菌的品质指标,研究表明,灰树花蛋白质含量为 26.70 g/100 g,粗多糖含量为 4.53 g/100 g,均低于本研究薏苡秸秆 P3 配方。曹秀明<sup>[27]</sup>利用菌草栽培灰树花时,结果发现,菌草配方栽培灰树花有利于提高蛋白质和粗多糖含量,其中添加五节芒和芒萁所栽培的灰树花子实体粗蛋白含量木屑配方高,达 36.96 g/

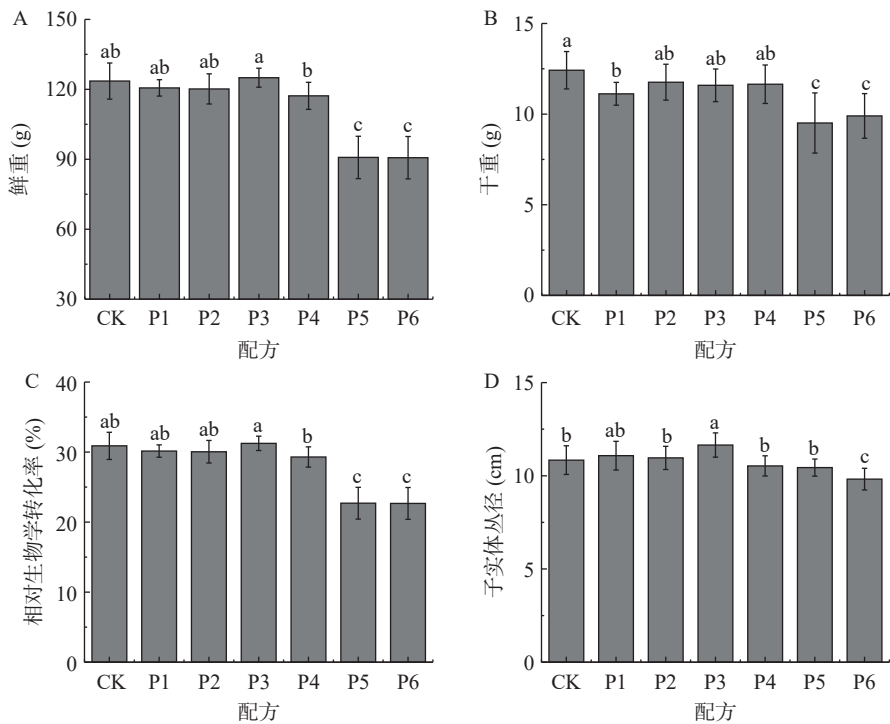


图 1 不同栽培配方下灰树花农艺指标

Fig.1 Agronomic indexes of *G.frondosa* under different cultivation formulas  
注: 不同小写字母表示各处理之间差异显著( $P<0.05$ )。

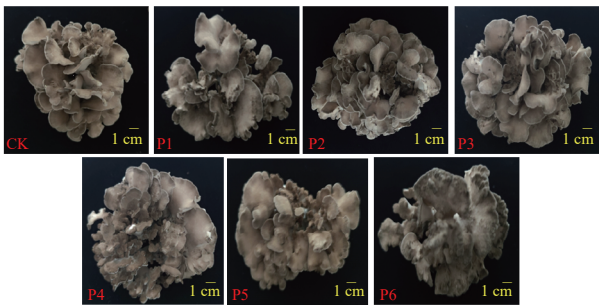


图 2 不同栽培配方下灰树花子实体

Fig.2 Fruiting body of *G.frondosa* under different cultivation formulas

100 g; 多糖含量也高于木屑配方, 达 8.14 g/100 g。研究说明灰树花在生长过程中仅添加木屑对蛋白质含量的影响较大, 在生产过程中还需要添加辅料, 增加灰树花生长过程中对蛋白质的累积。

表 2 不同栽培配方下灰树花营养指标  
Table 2 Nutritional indexes of *G.frondosa* under different cultivation formulas

营养成分	配方		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
	CK	P3		
蛋白质含量(g/100 g)	26.6±0.22	33.36±0.14**	-38.363	0.000
粗多糖含量(g/100 g)	6.30±1.59	5.62±0.50	0.574	0.597

注: \*\*表示各处理之间差异极显著( $P<0.01$ ), 表3同。

2.3 不同栽培配方下灰树花中氨基酸的含量分析

为了分析 P3 配方和 CK 配方灰树花之间差异较大的氨基酸组分, 将 2 个配方中所测灰树花氨基酸的含量及百分比进行统计, 所测 16 个氨基酸组分

在 P3 配方和 CK 配方均有测出。由表 3 可知, 16 种氨基酸表现出较强的差异性, P3 配方栽培的灰树花中 16 种氨基酸含量均极显著高于 CK 配方( $P<0.01$ ), P3 配方中谷氨酸 Glu、天门冬氨酸 Asp、组氨酸 His、亮氨酸 Leu 和丙氨酸 Ala 含量均高于 1.5 g/100 g, 谷氨酸 Glu 含量最高, 为 3.1 g/100 g, 这 5 种分别占 TAA 的 12.77%、10.67%、7.98%、7.6% 和 7.03%, 这 5 种氨基酸含量占 TAA 的 46.05%; CK 配方中谷氨酸 Glu、天门冬氨酸 Asp、组氨酸 His、亮氨酸 Leu 和丙氨酸 Ala 含量也是本配方中含量最高的 5 个氨基酸, 谷氨酸 Glu 同样表现出最高含量水平, 为 2.39 g/100 g, 这 5 种氨基酸含量占 TAA 的 47.27%。说明谷氨酸 Glu、天门冬氨酸 Asp、组氨酸 His、亮氨酸 Leu 和丙氨酸 Ala 是灰树花中最为重要的氨基酸, 总含量接近 TAA 的 50%。

由表 3 可知, P3 配方与 CK 配方之间, 灰树花总氨基酸含量、必需氨基酸含量、非必需氨基酸含量和半必需氨基酸含量均存在极显著差异( $P<0.01$ ), 且均表现出 P3 配方>CK 配方。EAA 与 TAA 比值发现, P3 配方高于 CK 配方, 分别约为 36.53% 和 35.27%, 含量最高的前 5 种氨基酸中, 仅亮氨酸 Leu 属于 EAA, 说明灰树花 EAA 各成分含量偏低, 食用灰树花时需要注意营养搭配。根据理想蛋白质标准发现, P3 配方和 CK 配方 EAA/(EAA+NEAA) 分别为 42.46% 和 41.37%, EAA/NEAA 分别为 73.8% 和 70.57%, 两种配方均符合理想蛋白标准。药用氨基酸比较发现, P3 配方极显著高于 CK 配方( $P<0.01$ ), 为 14.2 g/100 g, 其中含量最高的 5 种氨基酸中, 药

表 3 不同栽培配方下灰树花氨基酸组成及含量

Table 3 Amino acid composition and content in *G.frondosa* under different cultivation formulas

氨基酸成分	CK		P3		t值	P值
	含量(g/100 g)	百分比(%)	含量(g/100 g)	百分比(%)		
丙氨酸Ala	1.19±0.02	6.77±0.11	1.71±0.04**	7.03±0.03	-15.101	0.000
丝氨酸Ser	0.94±0.005	5.35±0.03	1.31±0.02**	5.39±0.03	-24.373	0.000
亮氨酸Leu	1.31±0.03	7.43±0.14	1.84±0.04**	7.6±0.012	-15.119	0.000
天门冬氨酸Asp	1.79±0.01	10.18±0.08	2.59±0.05**	10.67±0.03	-21.727	0.000
异亮氨酸Ile	0.82±0.02	4.67±0.09	1.18±0.03**	4.85±0.02	-15.980	0.000
酪氨酸Tyr	0.52±0.008	2.95±0.04	0.8±0.03**	3.31±0.07	-12.533	0.000
甘氨酸Gly	1.04±0.03	5.92±0.17	1.38±0.03**	5.7±0.02	-13.279	0.000
精氨酸Arg	0.96±0.02	5.43±0.09	1.45±0.04**	5.99±0.04	-15.534	0.000
组氨酸His	1.64±0.07	9.31±0.4	1.94±0.03**	7.98±0.08	-6.000	0.004
缬氨酸Val	1.04±0.02	5.92±0.08	1.48±0.03**	6.08±0.05	-16.510	0.000
脯氨酸Pro	0.92±0.04	5.24±0.22	1.12±0.03**	4.63±0.06	-6.255	0.003
苏氨酸Thr	0.93±0.01	5.3±0.039	1.35±0.03**	5.55±0.01	-19.366	0.000
苯丙氨酸Phe	0.81±0.01	4.60±0.07	1.2±0.03**	4.96±0.003	-19.399	0.000
蛋氨酸Met	0.28±0.01	1.61±0.03	0.36±0.02**	1.48±0.06	-4.904	0.008
谷氨酸Glu	2.39±0.05	13.58±0.23	3.1±0.06**	12.77±0.03	-13.250	0.000
赖氨酸Lys	1.01±0.02	5.75±0.09	1.46±0.03**	6.02±0.02	-16.750	0.000
总氨基酸TAA	17.62±0.35	—	24.27±0.51**	—	-18.200	0.000
必需氨基酸EAA	6.22±0.1	—	8.87±0.2**	—	-16.708	0.000
非必需氨基酸NEAA	8.81±0.05	—	12.01±0.25**	—	-13.650	0.000
半必需氨基酸CEAA	2.6±0.05	—	3.39±0.07**	—	-17.932	0.000
药用氨基酸MAA	10.12±0.09	—	14.2±0.32**	—	-17.334	0.000
EAA/TAA	—	35.27±0.45	—	36.53±0.06	—	—
EAA/(EAA+NEAA)	—	41.37±0.42	—	42.46±0.07	—	—
EAA/NEAA	—	70.57±1.22	—	73.8±0.2	—	—
MAA/TAA	—	57.44±0.33	—	58.49±0.09	—	—

用氨基酸有 3 种,分别为谷氨酸 Glu、天门冬氨酸 Asp 和亮氨酸 Leu,分别占药用氨基酸的 53.07% 和 54.30%。从氨基酸总量上分析,P3 配方中氨基酸总量极显著高于 CK 配方( $P<0.01$ ),分别为 24.27 g/100 g 和 17.62 g/100 g,均高于茶树菇(*Agrocybe aegerita*)、榆黄蘑(*Pleurotus citrinopileatus* Singer)、金针菇(*Flammulina velutipes*)、香菇(*Lentinus edodes*)、猴头菇(*Hericium erinaceus*)、双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)氨基酸总量<sup>[28-30]</sup>。

2.4 不同栽培配方下灰树花中呈味氨基酸分析

根据呈味氨基酸组成结构,计算 SAA、BAA、UAA 和 AAA 数值,分析评价不同栽培配方下灰树花呈味氨基酸组成及含量之间关系,结果见图 3。

由图 3 可知,不同栽培配方下灰树花呈味氨基酸中 BAA 含量最高,P3 配方 BAA 含量为 9.45 g/100 g,极显著高于 CK 配方( $P<0.01$ ),占总含量的 38.94%;不同栽培配方下灰树花呈味氨基酸中 AAA 含量最低,CK 配方为 1.53 g/100 g,极显著低于 P3 配方( $P<0.01$ ),占总含量的 8.7%。P3 配方 4 种呈味氨基酸含量均极显著高于 CK 配方( $P<0.01$ ),且均表现出 BAA>SAA>UAA>AAA,SAA+UAA>BAA。虽然 BAA 占比较大,但是在评价灰树花风味特征时,不能仅依靠呈味氨基酸 BAA 评价,需要采取综合评价方法。

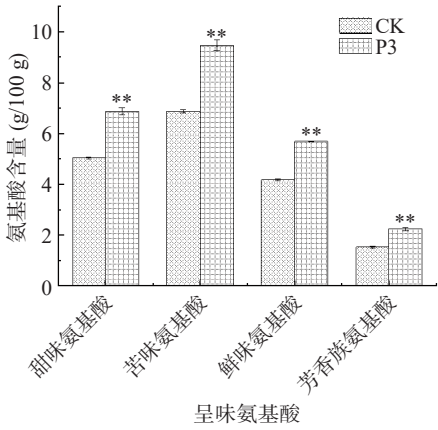


图 3 不同栽培配方下灰树花呈味氨基酸组成及含量

Fig.3 Flavored amino acid composition and content in *G.frondosa* under different cultivation formulas  
注:\*\*表示各处理之间差异极显著( $P<0.01$ )。

2.5 不同栽培配方下灰树花中氨基酸味觉活度值分析

不同栽培配方下灰树花 4 种呈味氨基酸含量差异显著,不能单一评价灰树花风味特征。呈味氨基酸对灰树花风味的贡献还与味觉阈值<sup>[23]</sup>相关,因此,采用 TAV 对灰树花 4 种呈味氨基酸进行分析和比较。结果见表 4。

由表 4 可知,在 P3 配方和 CK 配方下灰树花中 16 种氨基酸 TAV 值均大于 1,P3 配方中表现出



表 4 不同栽培配方下灰树花氨基酸 TAV  
Table 4 Amino acid TAV in *G.frondosa* under different cultivation formulas

类别	氨基酸名称	味道阈值 (g/100 g)	味道强度值TAV	
			CK	P3
甜味氨基酸(SAA)	丙氨酸Ala	0.06	19.83	28.50
	丝氨酸Ser	0.15	6.27	8.73
	甘氨酸Gly	0.13	8.00	10.62
	脯氨酸Pro	0.3	3.07	3.73
	苏氨酸Thr	0.26	3.58	5.19
	亮氨酸Leu	0.19	6.89	9.68
	异亮氨酸Ile	0.09	9.11	13.11
苦味氨基酸(BAA)	缬氨酸Val	0.04	26.00	37.00
	苯丙氨酸Phe	0.09	9.00	13.33
	精氨酸Arg	0.05	19.20	29.00
	蛋氨酸Met	0.03	9.33	12.00
	组氨酸His	0.02	82.00	97.00
鲜味氨基酸(UAA)	天门冬氨酸Asp	0.1	17.90	25.90
	谷氨酸Glu	0.03	79.67	103.33
芳香族氨基酸(AAA)	酪氨酸Tyr	0.26	2.00	3.08
	赖氨酸Lys	0.05	20.20	29.20

最高的 5 种氨基酸为谷氨酸 Glu、组氨酸 His、缬氨酸 Val、赖氨酸 Lys 和精氨酸 Arg, 其中谷氨酸 Glu 最高, 达 103.33; 最低为酪氨酸 Tyr, 其值为 3.08。CK 配方中表现出最高的 5 种氨基酸为组氨酸 His、谷氨酸 Glu、缬氨酸 Val、赖氨酸 Lys 和丙氨酸 Ala, 其中组氨酸 His 最高, 达 82.00; 最低的也是酪氨酸 Tyr, 其值为 2.00。综合分析发现, P3 配方灰树花中谷氨酸 Glu 呈味贡献最大, 且 UAA 中 TAV 值是对照配方的 1.32 倍。BAA 中组氨酸 His 最高, 其次是缬氨酸 Val, 这两种表现出甜和苦的味道, 若仅按苦味特征的氨基酸(亮氨酸 Leu、异亮氨酸 Ile、苯丙氨酸 Phe、精氨酸 Arg 和蛋氨酸 Met)计算, P3 配方和 CK 配方中 SAA 和 UAA 的 TAV 总量分别是 BAA 的 2.41 倍和 2.58 倍。

通过比较分析灰树花不同栽培配方呈味氨基酸组成结构和 TAV 值, 结果发现 SAA+UAA>BAA, 表明灰树花的氨基酸以鲜甜味氨基酸为主。尹淑丽等<sup>[31]</sup> 研究平菇时, 发现氨基酸以鲜甜味氨基酸为主, 段静怡等<sup>[21]</sup> 研究金针菇、斑玉蕈(*Hypsizygus marmoreus*)、香菇、双孢蘑菇时也同样发现氨基酸以鲜甜味氨基酸为主。可以推测无苦味的食用菌, 其氨基酸以鲜甜味氨基酸为主。

2.6 不同栽培配方下灰树花中必需氨基酸的组成及分析

灰树花蛋白质营养价值的高低, 主要取决于灰树花所含必需氨基酸种类、含量和组成比例, 这些成分的变化, 还与不同品种、不同配方、栽培模式、加工模式有关。表 5 为灰树花中各个必需氨基酸占总氨基酸的百分比。与 FAO/WHO 标准模式进行比较分析发现, P3 配方和 CK 配方灰树花中蛋氨酸

Met 含量均低于标准模式值, 与鸡蛋模式进行比较分析发现, 苏氨酸 Thr 含量高于标准模式值, 其他几种必需氨基酸均低于标准模式值。从必需氨基酸总量分析, 灰树花必需氨基酸含量高于 FAO/WHO 模式标准值, 略低于鸡蛋模式标准值。整体而言, 食用灰树花能够为提供机体丰富的必需氨基酸, 属于一种优质的菌物蛋白源。

表 5 灰树花中必需氨基酸的组成及比较分析  
Table 5 Composition and comparative analysis of essential amino acids in *G.frondosa*

必需氨基酸	必需氨基酸的质量分数(%)		FAO/WHO 模式	鸡蛋模式
	CK	P3		
苏氨酸Thr	5.3	5.55	4	5.1
亮氨酸Leu	7.43	7.59	7	8.8
异亮氨酸Ile	4.67	4.85	4	6.6
缬氨酸Val	5.92	6.08	5	7.3
蛋氨酸Met	1.61	1.48	3.5	5.5
苯丙氨酸+酪氨酸Tyr+Phe	7.55	8.27	6	10
赖氨酸Lys	5.75	6.02	5.5	6.4
合计	47.53	47.82	35	49.7

2.7 不同栽培配方下灰树花中氨基酸营养价值评价

根据氨基酸营养价值评价法, 比较不同配方间灰树花中氨基酸营养价值变化情况, 由表 6 可知, P3 配方和 CK 配方灰树花的氨基酸评分 AAS 值除蛋氨酸 Met 外, 其他必需氨基酸均高于 100, 说明灰树花中必需氨基酸是机体重要的营养物质来源, 但是, 不能作为主要营养物质来源。利用 RAA、RC 和 SRC 对灰树花中氨基酸的营养价值进行评价, P3 配方和 CK 配方灰树花中必需氨基酸 RC 值分别在 0.38~1.25、0.43~1.24 之间, 除蛋氨酸 Met 小于 0.5 外, 其他必需氨基酸均趋于 1, 表明不同栽培配方灰树花中均缺乏蛋氨酸 Met。因此, 可以说明灰树花中蛋氨酸 Met 为第一限制性氨基酸。吴应森等<sup>[32]</sup> 研

表 6 灰树花的必需氨基酸营养特征分析  
Table 6 Nutrition profile of essential amino acids in *G.frondosa*

必需氨基酸	CK				P3			
	AAS	RAA	RC	CS	AAS	RAA	RC	CS
苏氨酸Thr	132.50	1.33	1.24	108.67	138.75	1.39	1.25	113.10
亮氨酸Leu	106.14	1.06	0.99	88.29	108.43	1.08	0.97	89.64
异亮氨酸Ile	116.75	1.17	1.09	73.99	121.25	1.21	1.09	76.37
缬氨酸Val	118.40	1.18	1.10	84.80	121.60	1.22	1.09	86.56
蛋氨酸Met	46.00	0.46	0.43	30.61	42.29	0.42	0.38	27.97
苯丙氨酸+酪氨酸Tyr+Phe	125.83	1.26	1.17	78.95	137.83	1.38	1.24	85.95
赖氨酸Lys	104.55	1.05	0.98	93.95	109.45	1.09	0.98	97.76
限制性氨基酸	Met				Met			
SRC	73.18				70.59			
PDCAAS	33.58				30.87			
EAAI	102.35				105.06			
BV	99.86				102.82			
NI	27.23				35.05			

究也表明蛋氨酸 Met 为灰树花第一限制性氨基酸。P3 配方和 CK 配方灰树花中 SRC 值分别为 70.59 和 73.18, 两者差异不大, 说明灰树花中必需氨基酸的含量比较合理, 其营养价值较为均衡。而由于 P3 配方灰树花中氨基酸含量之间差异较大, 其 RC 值最大为 1.25, 最小为 0.38, 使得 RC 的相对标准差较大, 因此导致 SRC 值较小。通过比较 P3 配方和 CK 配方灰树花中 CS 值, CK 配方和 P3 配方灰树花中蛋氨酸 Met 的 CS 值为 30.61 和 27.97, 说明灰树花中蛋氨酸 Met 为第一限制氨基酸, 与 RC 值分析结果一致。

对灰树花中氨基酸的 EAAI、BV 和 NI 进行比较分析。结果显示, P3 配方 EAAI 值高于 CK 配方, 均大于 90, 说明灰树花的蛋白质营养价值较高; BV 值同样是 P3 配方 > CK 配方, 说明 P3 配方栽培的灰树花可利用程度高; CK 配方 NI 为 27.23, P3 配方 NI 为 35.05, 这是因为 P3 配方中灰树花蛋白质含量较高, 所以营养指数较高。

### 3 结论

本研究分析以薏苡秸秆和杂木屑为菌材栽培的灰树花农艺性状、蛋白质含量、粗多糖含量及氨基酸组成差异, 发现 P3 配方中氨基酸总量极显著高于 CK 配方 ( $P < 0.01$ )。说明薏苡秸秆替代部分木屑能提高灰树花子实体氨基酸含量。通过比较分析灰树花不同栽培配方呈味氨基酸组成结构和 TAV 值, 结果发现 SAA+UAA > BAA, 表明灰树花的氨基酸以鲜甜味氨基酸为主。通过必需氨基酸营养特征比较分析发现, 灰树花中蛋氨酸 Met 为第一限制性氨基酸。EAAI、BV 和 NI 数值均表现出 P3 配方 > CK 配方, 且数值均优于模式蛋白, 说明添加适当薏苡秸秆为基质栽培灰树花, 其氨基酸组成更高。薏苡是黔西南州主要经济作物之一, 薏苡秸秆是丰富的农业废弃资源, 成本低于木屑, 所以利用薏苡秸秆栽培灰树花不仅降低栽培成本、提高效益、促进灰树花产业经济循环发展, 而且也解决了长期存在的“菌林矛盾”, 及提升了灰树花食用价值。但研究中所选用灰树花菌种单一, 后续研究将在此基础上扩大菌种数量, 对薏苡秸秆配方下不同灰树花菌株生物活性物质进行深入研究, 以期对薏苡秸秆高效栽培高品质灰树花提供理论依据, 并为薏苡秸秆的高效资源化利用提供必要途径。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

[1] 牛牧青, 徐婉婷, 吕锐玲, 等. 珍稀食药菌灰树花的研究进展[J]. 食药菌, 2023, 31(1): 33–39. [NIU M Q, XU W T, LÜ R L, et al. Research progress of rare edible and medicinal mushroom *Grifola frondosa*[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2023,

31(1): 33–39.]

[2] 谢红艳, 王艳, 万鲁长, 等. 灰树花杂交菌株鲁灰 86 的选育[J]. 食用菌学报, 2020, 27(2): 31–37. [XIE H Y, WANG Y, WAN L Z, et al. Breeding of *Grifola frondosa* hybrid strain Luhui 86[J]. Acta Edulis Fungi, 2020, 27(2): 31–37.]

[3] ZHANG S, LI X, LI G, et al. Genetic and molecular evidence of a tetrapolar mating system in the edible mushroom *Grifola frondosa*[J]. Journal of Fungi, 2023, 9(10): 959.

[4] 刘佳, 包海鹰, 白日忠, 等. 灰树花孔菌超微粉体内抗肿瘤作用研究[J]. 菌物学报, 2018, 37(2): 226–236. [LIU J, BAO H Y, BAI R Z, et al. Anti-tumor activities of *Grifola frondosa* submicron powder on tumor-bearing mice[J]. Mycosystema, 2018, 37(2): 226–236.]

[5] 谢淳, 肖春, 王涓, 等. 灰树花活性多糖构效关系研究进展[J]. 微生物学通报, 2022, 49(8): 3401–3419. [XIE T, XIAO C, WANG J, et al. Advances in structure-activity relationship of polysaccharides from *Grifola frondosa*[J]. Microbiology China, 2022, 49(8): 3401–3419.]

[6] 张文岭, 赵飞飞, 张兆波, 等. 灰树花多糖对乳腺癌细胞 MCF-7 的凋亡作用[J]. 菌物学报, 2022, 41(12): 2048–2056. [ZHANG W L, ZHAO F F, ZHANG Z B, et al. Breast cancer cell MCF-7 apoptosis induced by polysaccharides of *Grifola frondosa*[J]. Mycosystema, 2022, 41(12): 2048–2056.]

[7] TRIPODI F, FALLETTA E, LERI M, et al. Anti-aging and neuroprotective properties of *Grifola frondosa* and *hericium erinaceus* extracts[J]. Nutrient, 2022, 14(20): 4368.

[8] LIU X, CHEN S, LIU H, et al. Structural properties and anti-inflammatory activity of purified polysaccharides from Hen-of-the-woods mushrooms (*Grifola frondosa*) [J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1078868.

[9] ZHAO J, HE R, ZHONG H, et al. Synergistic antitumor effect of *Grifola frondosa* polysaccharide—protein complex in combination with cyclophosphamide in H22 tumor-bearing mice[J]. Molecules, 2023, 28(7): 2954.

[10] 于荣利, 贾薇, 张劲松, 等. 八种食药菌子实体醇提物对乳腺癌细胞 MCF-7 的体外影响[J]. 食用菌学报, 2017, 24(2): 88–92. [YU R L, JIA W, ZHANG J S, et al. Effect of ethanolic extracts from eight kinds of medicinal and edible fungi on breast cancer cell MCF-7 *in vitro*[J]. Acta Edulis Fungi, 2017, 24(2): 88–92.]

[11] 丛倩倩, 李秀梅, 唐丽娜, 等. 不同配比栗子壳与棉籽壳栽培料对灰树花农艺性状的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(8): 13–16. [CONG Q Q, LI X M, TANG L N, et al. Effects of different ratios of chestnut shell and cotton seed shell cultivation materials on the agronomic characteristics of *Grifola frondosa*[J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(8): 13–16.]

[12] 曹秀明, 蔡杨星, 林占煊. 5 种菌草草粉栽培灰树花培养基配方筛选[J]. 福建农业科技, 2019(1): 14–19. [CAO X M, CAI Y X, LIN Z X. Screening of culture medium for *Grifola frondosa* cultivation with five kinds of JUNCAO grass powder[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2019(1): 14–19.]

[13] 彭学文, 解文强, 周廷斌, 等. 棉柴替代棉籽壳栽培灰树花配方试验[J]. 北方园艺, 2019(21): 118–121. [PENG X W, XIE W Q, ZHOU T B, et al. Formula test of cultivating *Grifola frondosa* by using cotton stalk replacing cotton seed hull[J]. Northern Horticulture, 2019(21): 118–121.]

[14] 张忠兰. 黔西南州薏苡产业发展态势分析及对策建议[J]. 南方农业, 2024, 18(3): 228–231. [ZHANG Z L. Analysis of the development trend of *coix* industry in southwest Guizhou and countermeasures and suggestions[J]. South China Agriculture, 2024,



- 18(3): 228–231. ]
- [ 15 ] 王颖, 赵兴娥, 王微, 等. 蕙苾不同部位营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 255–259. [ WANG Y, ZHAO X E, WANG W, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in different tissues of *Coix lacryma-jobi*[J]. Food Science, 2013, 34(5): 255–259. ]
- [ 16 ] 李龙兴, 龚正发, 周佳佳, 等. 蕙苾秸秆与杂交狼尾草混合青贮品质的研究[J]. 中国饲料, 2022(5): 143–146. [ LI L X, GONG Z F, ZHOU J J, et al. Study on the quality of mixed silage of *Coix* straw and hybrid pennisetum[J]. China Feed, 2022(5): 143–146. ]
- [ 17 ] 魏翔. 蕙苾秸秆代料栽培灵芝工厂化生产技术[J]. 福建农业科技, 2012(2): 24–25. [ WEI A. Factory production technology of glossy ganoderma using *Coix lacryma Jobi* straw to substitute culture medium[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2012(2): 24–25. ]
- [ 18 ] 刘炼, 赵宁, 林茂, 等. 不同基质及配比对大球盖菇生长和营养成分的影响[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(3): 61–67. [ LIU L, ZHAO N, LIN M, et al. Effects of different substrates and proportions on growth and nutritional components of *Stropharia rugoso-annulata*[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2022, 50(3): 61–67. ]
- [ 19 ] 李艳婷, 郭尚, 冯斌, 等. 大白桩菇水解氨基酸含量的测定方法研究及其评价[J]. 中国食用菌, 2023, 42(2): 33–39. [ LI Y T, GUO S, FENG B, et al. Methodological study and evaluation on the determination of hydrolyzed amino acid content in the fruit body of *Leucopaxillus giganteus*[J]. Edible Fungi of China, 2023, 42(2): 33–39. ]
- [ 20 ] 范婷婷, 赵晓燕, 李晓贝, 等. 不同煮制时间对金针菇中水解氨基酸和游离氨基酸含量的影响[J]. 上海农业学报, 2021, 37(3): 100–105. [ FAN T T, ZHAO X Y, LI X B, et al. Effects of different cooking time on the content of hydrolyzed amino acids and free amino acids in *Flammulina velutipes*[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(3): 100–105. ]
- [ 21 ] 段静怡, 李自燕, 李建, 等. 基于游离氨基酸的组分及特征比较四种食用菌与四种果蔬的营养与风味特征[J]. 菌物学报, 2020, 39(6): 1077–1089. [ DUAN J Y, LI Z Y, LI J, et al. Comparison of nutritional and flavor characteristics between four edible fungi and four fruits and vegetables based on components and characteristics of free amino acids[J]. Mycosystema, 2020, 39(6): 1077–1089. ]
- [ 22 ] 陈惜燕, 蒲鹏, 康靖全, 等. 8 种食用菌游离氨基酸的组成及含量比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 183–190. [ CHEN X Y, PU P, KANG J Q, et al. Comparison of composition and content of free amino acids in eight kinds of edible mushroom[J]. Journal of Northwest A& F University (Nat. Sci. Ed. ), 2017, 45(5): 183–190. ]
- [ 23 ] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243–250. [ LIU W, ZHANG Q, LI Z J, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds[J]. Food Science, 2019, 40(10): 243–250. ]
- [ 24 ] ROTZOLL N, DUNKEL R, HOFMANN T. Quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments on the key taste compounds in morel mushrooms (*Morchella deliciosa* Fr.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2705–2711.
- [ 25 ] YU C X, ZHANG Y R, REN Y F, et al. Composition and contents of fatty acids and amino acids in the mycelia of *Lentinula edodes*[J]. Food Science & Nutrition, 2023, 11(7): 4038–4046.
- [ 26 ] 曾维军, 杨玲, 王万坤, 等. 贵州 4 种主要栽培食用菌品质综合评价[J]. 中国食用菌, 2023, 42(3): 57–63. [ ZENG W J, YANG L, WANG W K, et al. Comprehensive evaluation on the quality of four main cultivated edible fungi in Guizhou[J]. Edible Fungi of China, 2023, 42(3): 57–63. ]
- [ 27 ] 曹秀明. 菌草栽培灰树花基本营养成分分析及其多糖的分离纯化[D]. 福州: 福建农林大学, 2012. [ CAO X M. Study on the basic nutrients composition and purification of polysaccharides from *Grifola frondosa* by JUNCAO[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture And Forestry University, 2012. ]
- [ 28 ] LI J, MA J, FAN S, et al. Comparison of the nutritional and taste characteristics of 5 edible fungus powders based on the composition of hydrolyzed amino acids and free amino acids[J]. Journal of Food Quality, 2022, 2022: 1–10.
- [ 29 ] WANG Z, LI M, FAN J, et al. Cultivation and nutritional evaluation of *Agaricus bisporus* with tea residue as culture medium[J]. Foods, 2023, 12(13): 2440.
- [ 30 ] XIE Z R, CHENG M, TAN L R, et al. Determination of protein amino acids and nonprotein amino acids in two edible fungi by HPLC with OPA-FMOC precolumn derivatization[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(10): 240–246.
- [ 31 ] 尹淑丽, 梁然, 李书生, 等. 梨木屑基质对平菇子实体氨基酸组成及营养价值的影响[J]. 北方园艺, 2022(11): 112–119. [ YIN S L, LIANG R, LI S S, et al. Effects of pear sawdust cultivation substrate on amino acid composition and nutritional value in *Pleurotus ostreatus*[J]. Northern Horticulture, 2022(11): 112–119. ]
- [ 32 ] 吴应森, 徐丽红, 吴银华, 等. 不同海拔高度对灰树花氨基酸含量的影响[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(7): 1004–1007. [ WU Y M, XU L H, WU Y H, et al. Effects of different altitudes on amino acid content of *Grifola frondosa*[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2015, 56(7): 1004–1007. ]